

GEMEINSAME BEWIRTSCHAFTUNG VON KANALNETZ UND KLÄRANLAGE

- VERANLASSUNG UND LÖSUNGSANSÄTZE -

Lothar Fuchs, Hannover und Katja Seggelke, Dresden

1 EINFÜHRUNG

Die Bewirtschaftung von Kanalnetzen wird in verschiedenen Städten großtechnisch eingesetzt, um die qualitative Gewässerbelastung zu reduzieren. Die meisten Steuerungskonzepte basieren auf einer Reduzierung der Entlastungsmengen und die Steuerung erfolgt nach den gemessenen Abflüssen und/oder Wasserständen. Untersuchungen belegen jedoch, dass im Hinblick auf eine Reduzierung der Gewässerbelastung

- eine Steuerung nach den Frachten bzw. Konzentrationen gegenüber der Steuerung nach den Entlastungsmengen zusätzliche Vorteile aufweist und
- bei der Steuerung die Leistungsfähigkeit der Kläranlage berücksichtigt werden muss.

Untersuchungen des Verhaltens von Kläranlagen unter Mischwasserzufluss zeigen, dass weniger die Phasen konstant hoher Belastung als kritisch einzustufen sind, sondern vielmehr die Übergangsphasen vom Trockenwetter- auf den Mischwasserzufluss. Die bei einer Höherbelastung der Kläranlage limitierenden Prozesse sind inzwischen in verschiedenen Untersuchungen übereinstimmend identifiziert worden.

Entsprechend können freie Kapazitäten der Kläranlage angesichts der Variabilität von Ereignissen und Randbedingungen optimal genutzt werden, wenn der Mischwasserzufluss aufgrund kontinuierlicher Überwachung dynamisch den Gegebenheiten angepasst und nicht statisch vorgegeben wird. Die Bewirtschaftung des Kanalnetzes ist darauf entsprechend abzustimmen.

In dem vorliegenden Beitrag werden nach der Vorstellung des aktuellen Standes bei der Kanalnetzsteuerung, den Hintergründen, warum eine dynamische Anpassung des Zuflusses sinnvoll und zulässig ist, mögliche Lösungsansätze zur Umsetzung der gemeinsamen Bewirtschaftung von Kanalnetz und Kläranlage erläutert.

2 STAND DER KANALNETZSTEUERUNG

Der praktische Nutzen der Bewirtschaftung von Kanalnetzen wurde bereits vor einigen Jahren sowohl an theoretischen Beispielen als auch an praktischen Projekten wissenschaftlich untersucht. Inzwischen ist die Aktivierung und Bewirtschaftung von Kanalstauraum eine mögliche Sanierungsvariante insbesondere zur Reduzierung der Mischwasserentlastungen. In praktischen Projekten ist sie nicht nur in Nordamerika (Seattle, Quebec City, Milwaukee, etc.) umgesetzt worden, sondern auch in Deutschland oder anderen europäischen Staaten (Bremen, Dresden, Wien, etc.) (vgl. ATV 1995a+b; Schilling, 1996; Cassar, 2000; Weyand et al., 2000; Fuchs, 2002, Fuchs et al. 2002).

Als Eingangsgrößen für die Abflusssteuerung werden Messungen des Wasserstands und/oder Durchflusses im Kanalnetz sowie Niederschlagsmessungen im Einzugsgebiet benötigt. Teilwei-

se erfolgt eine Vorhersage des Abflussverhaltens durch online Simulation, die bei großen Systemen in der Regel auf einer Radarmessung der Niederschläge und der Vorhersage des zukünftigen Niederschlagsverhaltens aufbaut. Mittels Optimierung oder regelbasierten Systemen werden die jeweiligen Stellgrößen für die Regeleinrichtungen, wie z.B. Pumpen, bewegliche Wehre, Schieber, etc. ermittelt, um Speichervolumen im Kanalnetz zu aktivieren und Abwasser zurückzuhalten. Dies wiederum führt zu einer Reduzierung der Entlastungsmengen bzw. -frachten. Obwohl die Hauptzielrichtung bei der Bewirtschaftung die Reduzierung der Entlastungsfrachten ist, werden die meisten Steuerungssysteme basierend auf einer Betrachtung der Entlastungsmengen konzipiert und nach den gemessenen Abflüssen und/oder Wasserständen gesteuert.

In den bisherigen Projekten wird weder die Auswirkungen der Abflusssteuerung auf die Kläranlage berücksichtigt, noch findet eine Verknüpfung mit der Kläranlage durch eine dynamische Anpassung des Zuflusses statt. Die sich aus den bisher geltenden Bemessungsrichtlinien ergebenden Rahmenbedingungen (ATV A131, 1991: „i.d.R. $2 \cdot Q_s + Q_f$ “) machten derartige Lösungsansätze bisher unmöglich.

3 HINTERGRÜNDE DER DYNAMISCHEN ANPASSUNG DES KLÄRANLAGENZUFLUSSES

3.1 Formale Randbedingung: ATV-DVWK Arbeitsblatt A198

In der bisher üblichen Bemessungspraxis wurde der maximale Zufluss Q_m zur Kläranlage bei Regen nach ATV A131 (1991) und ATV A128 (1992) auf einen festen maximalen Wert $Q_m = 2 \cdot Q_s + Q_f$ festgelegt

Das neue ATV A131 (2000) verweist zur Ermittlung des Mischwasserzuflusses auf das Arbeitsblatt ATV-DVWK A198 (2003), dass eine Optimierung zwischen zulässiger Beschickung der Kläranlage und der Mischwasserbehandlung ermöglicht. Hiernach ergibt sich Q_M mit dem mittleren jährlichen Schmutzwasserabfluss $Q_{S,aM}$ (l/s) und einem Spitzenfaktor $f_{Sp,S}$ zu:

$$Q_M = f_{Sp,S} \cdot Q_{S,aM} + Q_{F,pM} \text{ (l/s)}$$

Der Fremdwasserabfluss $Q_{F,pM}$ wird in der Regel als Jahresmittelwert angesetzt ($Q_{F,aM}$).

Die vorgeschlagene Bandbreite von $f_{Sp,S}$ liegt z.B. für Großstädte (> 100.000 E) zwischen 3 - 6 und für den ländlichen Bereich zwischen 6 - 9. Dadurch erfolgt eine gegenüber den bisherigen Ansätzen stärkere Belastung großstädtischer Kläranlagen mit Mischwasser. Darüber hinaus ist damit eine Optimierung zwischen dem erforderlichen Speichervolumen in der Kanalisation und der Belastbarkeit der Kläranlage möglich und die formale Randbedingung für eine integrierte Bewirtschaftung von Kanalnetz und Kläranlage gegeben.

Bild 1 zeigt die auf Messdaten basierenden Bereiche für den Mischwasserzufluss, die sich nach dem neuen A 198 ($Q_{M \min}$, $Q_{M \max}$) und dem bisherigen Q_m (85%-Wert + Spitzenfaktor) ergeben.

Die Beispiele zeigen, dass Bandbreiten zulässig werden, die zu einer erheblichen Erhöhung des zulässigen Mischwasserabflusses auf ca. $Q_M = 3$ bis $3,5 \cdot Q_s + Q_f$ führen können. Die Wahl des Wertes muss unter Einhaltung der bisher gültigen Ablaufgrenzwerte der Kläranlage erfolgen.

- Stadt Hildesheim 120.000 E (Seggelke, 2002)
- Stadt Köln-Langel 100.000 E (Rosenwinkel et al., 2003)
- Beispiel Anhang A198, 75.000 E

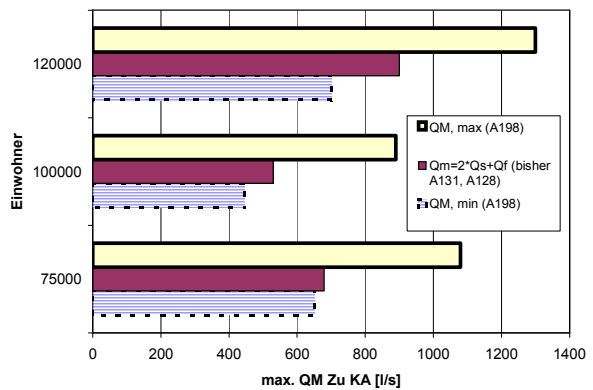


Bild 1 Zul. Abfluss Q_M zur Kläranlage

3.2 Reaktion der Kläranlage auf Mischwasserzuflüsse

In den letzten Jahren sind zahlreiche Untersuchungen zu den Auswirkungen des Mischwassers auf die Reinigungsprozesse der Kläranlage durchgeführt worden (z.B. Harremoës et al., 1993; Krauth & Schwentner, 1994; ATV, 1997; Bruns, 1999; Seggelke, 2002). Folgende Prozesse haben sich für die Höherbelastung der Kläranlage als maßgeblich limitierend erwiesen:

- Die Nitrifikation im Belebungsbecken
- Die Sedimentation im Nachklärbecken
- Die biologische P-Elimination (da üblicherweise eine Fällung vorgehalten wird, können erhöhte P-Ablaufwerte verhindert werden; Dosierung nach dem PO_4 -P-Ablaufgehalt)

In Anbetracht der Variabilität möglicher Ereignisverläufe, der Dynamik der Frachten im Zufluss zur Kläranlage und der Bandbreite möglicher Anfangsbedingungen bei Ereignisbeginn schwankt die Mischwasseraufnahmekapazität der Kläranlage in weiten Bereichen.

Insbesondere ergibt sich durch den Ausstoß von Ammonium aus der Kanalisation (Krebs *et al.*, 1999) und aus dem Vorklärbecken zu Beginn des Mischwasserzuflusses (Gujer *et al.*, 1982) eine Phase kritischer Belastung für die Nitrifikation, während sich nach Regenende durch die Entleerung des Kanalnetzes und der Mischwasserspeicher im Einzugsgebiet wiederum eine Frachterhöhung von Ammonium einstellt. Während der Phase konstant hoher hydraulischer Beschickung ist die Ammoniumfracht im Vergleich zum Trockenwetteranfall zumeist reduziert.

Auch beim Absetzprozess sind eher die Übergangsphasen für eine unzureichende Abtrennleistung kritisch, als die Phasen der konstanten, maximalen Mischwasserbelastung (Krebs *et al.*, 2000).

Bezüglich der beiden maßgebenden Prozesse ist eine Mischwasserbelastung der Kläranlage oberhalb $2 \cdot Q_s + Q_f$ zeitweise möglich und kann durchaus sinnvoll sein (s. z.B. Krauth & Schwentner, 1994; Carrette *et al.*, 2000; Seggelke, 2002). Die freien Kapazitäten können angesichts der Variabilität von Ereignissen und Randbedingungen jedoch nur dann optimal genutzt werden, wenn der Mischwasserzufluss dynamisch den Gegebenheiten angepasst und nicht etwa statisch vorgegeben wird.

3.3 Nutzen der Höherbelastung der Kläranlage

Verschiedene wissenschaftliche Untersuchungen haben in den letzten Jahren gezeigt, dass ein integrierter Betrieb der Teilsysteme Kanalnetz und Kläranlage die Gewässerbelastung deutlich reduzieren kann. Insbesondere die Anpassung des Kläranlagenzuflusses an die aktuelle Reinigungskapazität kann stark sauerstoffzehrende und ammoniumhaltige Mischwasserentlastungen verhindern und somit den Vorfluter nachhaltig vor akuten Schädigungen schützen (z.B. Krauth & Schwentner, 1994; Lijklema et al., 1993, Bruns, 1999). Nachfolgend werden Ergebnisse von Untersuchungen am Einzugsgebiet Hildesheim aufgezeigt (Seggelke, 2002). Mittels mehrjähriger Messungen wurden Simulationsmodelle kalibriert und Fallstudien durchgeführt.

Einfluss auf die Emission bzw. das Speichervolumen im Kanalnetz

Bild 2 verdeutlicht, wie höhere Zuflüsse zur Kläranlage die aus dem Kanalnetz ins Gewässer **emittierte Fracht** (Beispiel $\text{NH}_4\text{-N}$) reduzieren und zeitgleich die Frachten aus der Kläranlage ansteigen lassen.

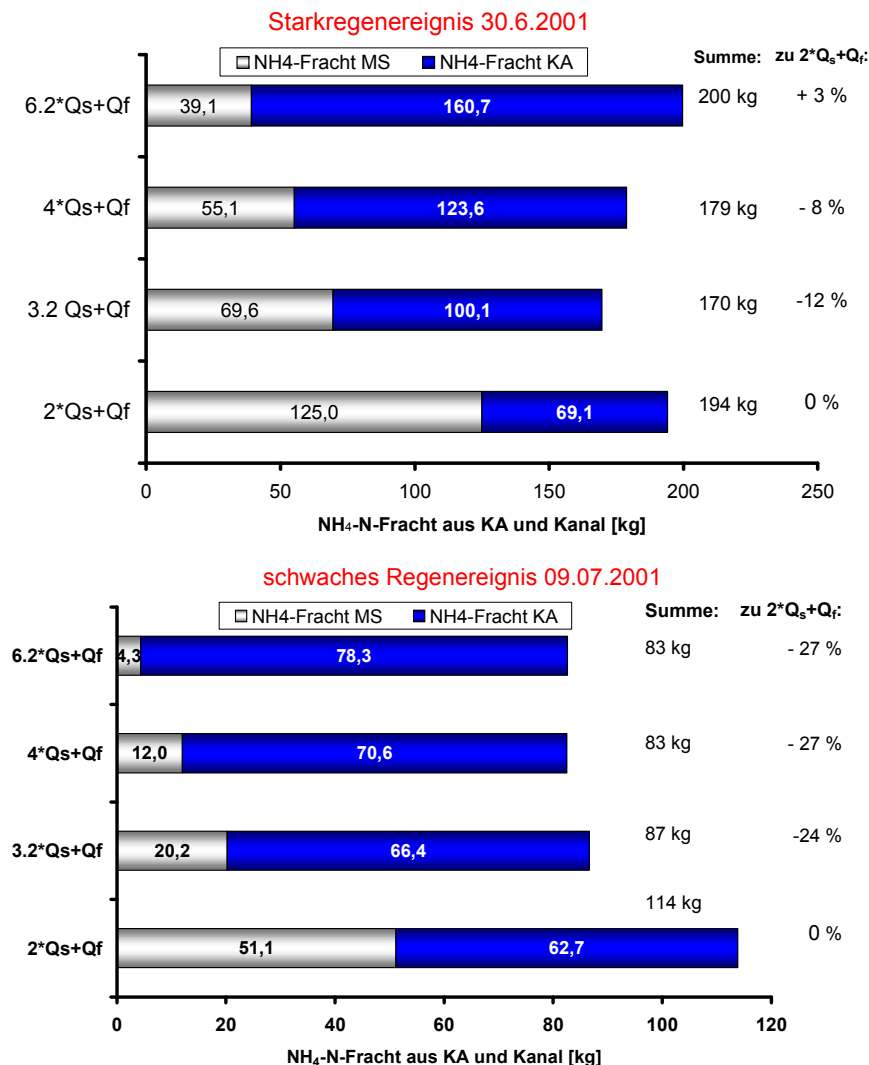


Bild 2 $\text{NH}_4\text{-N}$ -Entlastungsfrachten bei unterschiedlichen KA-Zuflüssen (Seggelke, 2002)

Im Optimum kann bei dem gezeigten Starkregenereignis die Gesamt-Fracht in das Gewässer mit Zuflüssen von $3,2 \cdot Q_s + Q_f$ um 12% reduziert werden. Bei dem kleineren und statistisch häufigeren Ereignis sind die Auswirkungen erhöhter Drosselabflüsse auf die Fracht aus der Kläranlage geringer, da diese nur kurzfristig erreicht wurden. Die Reduzierung der Gesamtfracht ist mit 24 % sogar höher. Bei quasi vollständig ausgeschöpften Speicherkapazitäten (großes Ereignis) bestehen kaum Möglichkeiten, die Abflusssdynamik durch verschiedene Drosselabflüsse zur Kläranlage maßgebend zu dämpfen.

Für die Einstellung des Drosselabflusses kann kein übereinstimmendes Optimum gefunden werden, d.h. ein dynamischer, in Abhängigkeit der Ereignisgröße gesteuerter Betrieb der Abflüsse in definierten Grenzen ist sinnvoll, um die Kapazitäten stets vorteilhaft auszunutzen.

Ist der vorhandene Vorfluter kein sensitives Gewässer und verfügt die Kläranlage über freie Behandlungskapazitäten, können mit höheren Zuflüssen zur Kläranlage Investitionskosten eingespart werden. Die theoretische Betrachtung mit einer Langzeitsimulation über 10 Jahre zeigt, dass deutliche **Reduzierungen des erforderl. Beckenvolumens** im Kanalnetz möglich sind.

$$Q_m = 2 \cdot Q_s + Q_f \text{ (alt)} \quad \Rightarrow \text{erf. V} = 9.200 \text{ m}^3 \text{ (gem. ATV A128)}$$

$$Q_M = 6 \cdot Q_{S,aM} + Q_{F,pM} \text{ (neu)} \quad \Rightarrow \text{erf. V} < 6.000 \text{ m}^3 \text{ (gem. ATV A128)}$$

Einfluss auf die Immission

Maßgebende akute und verzögerte Belastungen aus Mischwasserentlastungen bedeuten für das Gewässer und dessen Biozönose hydraulischen Stress, toxische $\text{NH}_3\text{-N}$ -Gehalte und ein O_2 -Defizit, das meistens einige km unterhalb der Einleitungsstelle auftritt. Die Stärke der Belastung ist abhängig von der Intensität der Mischwasserentlastung und der Selbstreinigungskraft des Gewässers.

Untersuchungen haben gezeigt, dass die $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentration im Gewässer durch eine Erhöhung des Drosselabflusses auf $3,2 \cdot Q_s + Q_f$ vermindert werden kann. Auch hinsichtlich des Sauerstoffgehalts ist die Variante „ $2 \cdot Q_s + Q_f$ “, in der viel Mischwasser entlastet wird, am ungünstigsten (Seggelke, 2002).

Da die $\text{NH}_4\text{-N}$ - bzw. $\text{NH}_3\text{-N}$ -Konzentrationen im Gewässer sowohl durch die Fracht als auch durch die Konzentration in der Einleitung beeinflusst wird, führt bei Einleitungen mit identischer Fracht diejenige mit der höheren Konzentration zu einer akuterer Gewässerbelastung. Nur durch die Regelung des Kläranlagenzuflusses (z.B. in Abhängigkeit der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentrationen im Kanalnetz und im Ablauf der Kläranlage) unter Berücksichtigung der jeweils kritischen Reinigungsprozesse kann eine Reduzierung der Gewässerbelastung erreicht werden.

4 INTEGRATION DES KLÄRANLAGENZUFLUSSES ALS REGELGRÖSSE IN DIE KANALNETZSTEUERUNG

Dynamische Bewirtschaftung des KA-Zuflusses

Eine dynamische Bewirtschaftung des Zuflusses zur Kläranlage bedingt eine ständige Kontrolle der Randbedingungen, der kritischen Reinigungsprozesse und der definierten Entscheidungskriterien, um das System Kanalnetz und Kläranlage optimal auszuschöpfen und zu hohe Zulaufmengen zu vermeiden. Grundsätzlich sind zwei verschiedene Lösungsansätze zur Regelung des Zuflusses zur Kläranlage unter Ausschöpfung vorhandener Kapazitäten denkbar:

- MSR-Konzepte mit online erfassten Regel- und Störgrößen
- modell- bzw. beobachtergestützte Regelungsstrategien

Online erfasste Regel- und Störgrößen

In den letzten Jahren wurden auf dem Messgerätemarkt hinsichtlich Zuverlässigkeit und Messprinzip Entwicklungen vorgestellt (insitu-Sonden ohne Probenaufbereitung; Messung Schlammabsetzverhalten), die die messtechnische Überwachung der kritischen Prozesse ermöglichen. Wichtig ist die Einbeziehung von Messgrößen, die einen gewissen Prognosehorizont liefern. So ist die einfache Messung der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentration im Ablauf der Kläranlage nicht ausreichend, um den Mischwasserzufluss zur Kläranlage zu regeln. Durch die starke zeitliche Verzögerung könnte eine Überschreitung der vorhandenen Kapazität nicht aufgehalten werden.

Bisherige Untersuchungen haben die vorhandene Nitrifikationskapazität als eine sinnvolle Größe identifiziert (z.B. Bruns, 1999). Diese erlaubt es, die maximal zulässige $\text{NH}_4\text{-N}$ -Zuflussfracht bzw. bei paralleler Messung der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentration den zulässigen Zufluss zu ermitteln.

Um den zweiten kritischen Prozess, das Absetzen in der Nachklärung zu überwachen, wurde z.B. von Nyberg et al. (1996) die gemessene Schlammspiegelhöhe in der Nachklärung herangezogen. Hintergrund ist, dass ein hoher Schlamm Spiegel zu Schlammabtrieb führen kann, wenn weiterhin hohe Zuflüsse bzw. Zuflussschwankungen auftreten. Kritisch ist hierbei jedoch die geringe Vorhersagezeit der Schlamm Spiegelhöhe, d.h. dass auf einen plötzlichen Anstieg mit dem daraus resultierenden Schlammabtrieb nicht mehr rechtzeitig im Zufluss reagiert werden kann. Hier sollten Messgrößen wie z.B. das Schlammvolumen und der TS-Gehalt in der Belüftung herangezogen werden, um den aktuellen Zustand der Schlammabsetzfähigkeit zu integrieren. Bei hohem Schlammindex (z.B. in den Wintermonaten) kann eventuell bereits eine feste Grenze für den maximalen Zufluss vorgegeben werden.

Grundsätzlich empfiehlt sich der Einsatz spezieller Regelungsstrategien auf der Kläranlage, um deren Leistungsfähigkeit entsprechend zu erhöhen (s. z.B. Seggelke, 2002).

Modell- bzw. beobachtergestützte Regelungsstrategien

Ein Simulationsmodell ermittelt online parallel zum realen Betrieb der Kläranlage deren aktuellen Zustand und stellt ihn in Modellform einem Prognosetool zur Verfügung. Dieses besteht aus einem hydrologischen Kanalnetzmodell, das in Abhängigkeit der aktuellen Regenintensität den zukünftigen Zufluss zur Kläranlage prognostiziert und an ein Kläranlagen-Prognosemodell weiterleitet (Seggelke, 2002). Somit können prädiktive Simulationen mit unterschiedlichen Drosselabflüssen durchgeführt werden, aus denen der ideale Sollwert für den Zufluss zur Kläranlage nach Berücksichtigung emissions- und immissionsorientierter Bewertungskriterien ermittelt wird. Machbarkeitsuntersuchungen und die beispielhafte Anwendung zeigen, dass der zuverlässige Prognosehorizont mindestens 45 min beträgt und im gezeigten Fallbeispiel eine optimale Anpassung des Drosselabflusses und eine deutliche Verminderung der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentrationen im Gewässer gegenüber festen Einstellungen möglich ist. Gegenüber den Ansätzen, Messungen zur Regelung des Drosselabflusses einzusetzen, hat das Prognosesimulationskonzept den entscheidenden Vorteil, zukünftige Szenarien im Vorfeld zu prognostizieren und den Vorhersagezeitraum auszunutzen. Eine Verlängerung des Prognosehorizonts und die damit zwangsläufig einhergehende Verbesserung der Regelgüte kann durch die Einbeziehung einer Niederschlagsvorhersage erreicht werden.

Nachteilig an dem System sind der insgesamt hohe Entwicklungsaufwand für jede Anwendung und die Installation bzw. der Betrieb der zahlreichen technischen Voraussetzungen (u.a. viel Messtechnik).

Integration der Regelgröße „Zufluss Kläranlage“ in die Kanalnetzsteuerung

Inhalt aktueller Untersuchungen ist es, den Zufluss zur Kläranlage in ein Kanalnetz-Steuerungskonzept zu integrieren, um die Regelung von Kanalisation und Kläranlage bei Nie-

derschlagsereignissen zu kombinieren. Das Abflussgeschehen in der Kanalisation, d.h. die Bewirtschaftung der dort vorhandenen Speicherräume muss auf diesen nun variablen Mischwasserzufluss optimiert werden. Die Einstellung der Drosselabflüsse an den Regenüberlaufbecken erfolgt somit nicht mehr alleine in Abhängigkeit der Speichervolumina, sondern in Abhängigkeit von den hydraulischen Ableitungskapazitäten, der aktuellen stofflichen Belastung der Kläranlage und dem aktuellen Systemzustand der Kläranlage (Trockenwetterzustand, Übergangsbereich, Regenwetterzustand). Im Rahmen aktueller Untersuchungen werden dazu Konstellationen/Szenarien entwickelt, deren Verhalten simulationstechnisch überprüft wird.

Entscheidungskriterien

Definierte Entscheidungskriterien für die gemeinsame Bewirtschaftung von Kanalnetz und Kläranlage müssen idealer Weise folgende Zielsetzungen nach ihrer Priorität koordinieren und der Regelung die Sollwerte liefern:

- Primär:** => Einhaltung der Kläranlagenablaufgrenzwerte
=> Verminderung der akuten Gewässerbelastung (immissionsorientiert)
- Sekundär:** => Reduzierung der Entlastungsfrachten (emissionsorientiert)
=> Einleitung des geringer konzentrierten Teilstroms (emissionsorientiert)

Im Normalfall gilt es bei sensitiven Gewässern, akut kritische Zustände zu vermeiden, die in den meisten Fällen durch erhöhte $\text{NH}_4\text{-N}$ - ($\text{NH}_3\text{-N}$) und niedrige O_2 -Konzentration resultieren.

Je nach Anforderung des Gewässers, nach vorhandenem Bewirtschaftungskonzept (mess- oder modellbasiert) und verfügbarer Messtechnik variieren mögliche Entscheidungskriterien und –konzepte zur Einstellung des Kläranlagenzuflusses.

Im einfachsten Fall könnte ein emissionsorientierter Ansatz bei einem auf Messungen basierendem Konzept z.B. wie folgt aussehen (Annahme: Absetzprozess unkritisch):

- Messung Nitrifikationskapazität + $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentration im Zufluss => Errechnung des zulässigen max. Q_M . Überprüfung, ob $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentration im Zufluss höher ist als im Ablauf der Kläranlage (wenn ja, Zufluss zur Kläranlage verringern und entlasten!)

Bei einem modellbasierten, prädiktiven Konzept könnte ein einfacher immissionsorientierter Ansatz auch ohne eine Online-Messung im Gewässer zum Einsatz kommen:

- Unter Verwendung des mittleren Niedrigwasserabflusses (ungünstigster Lastfall) und bei einer im Jahresverlauf kaum schwankenden $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentration im Gewässer kann über eine Mischungsrechnung mit den Einleitungen aus Kläranlage und Kanalnetz die resultierende Konzentration errechnet werden. Somit kann das Optimum des Drosselabflusses zur Kläranlage aus der erläuterten Variantenrechnung ermittelt werden (vgl. Seggelke, 2002)

5 ZUSAMMENFASSUNG/AUSBLICK

Untersuchungen zeigen, dass bei entsprechenden Kapazitätsreserven der Kläranlage durch eine Erhöhung der Zuflüsse zur Kläranlage über die bisher üblichen $2 \cdot Q_s + Q_f$ hinaus, kritische Gewässerbelastungen aus Kanalnetzentlastungen vermieden werden können bzw. ein geringeres Speichervolumen im Kanalnetz erforderlich ist. Das neue ATV-DVWK A198 gestattet eine Erhöhung der Kläranlagenzuflüsse sofern die zulässigen Ablaufgrenzwerte eingehalten werden.

Da eine große Variabilität der Regenereignisse, der Randbedingungen und der Reaktionen der Teilsysteme besteht, führt eine statische Einstellung von Q_m für verschiedene Ereignisse nicht zum Optimum. Dieses kann nur mit einem dynamischen Ansatz, d.h. einem integrierten Regelungskonzept von Kanalnetz und Kläranlage ausgeschöpft werden.

Erste Vorschläge zur dynamischen Anpassung der Kläranlagenbeschickung liegen vor. Dabei wurden bisher als Basis, d.h. um die Ablaufgrenzwerte stets einzuhalten, online erfasste Messgrößen oder eine Online-Kläranlagensimulation verwendet. Weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auch im großtechnischen Maßstab sind jedoch erforderlich.

6 LITERATUR

- ATV A128 (1992). Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischsystemen. *Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik* (GFA), St. Augustin.
- ATV A131 (1991 bzw. 2000). Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen (alt bzw. neu). *Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik* (GFA), St. Augustin.
- ATV A198 (2003). ATV-DVWK. Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen. *Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik* (GFA), St. Augustin.
- ATV (1997). Auswirkungen der Mischwasserbehandlung auf den Betrieb von Kläranlagen. Arbeitsgruppe 2.12.1. *Korrespondenz Abwasser*, **44** (8), 1419-1428.
- Bruns J. (1999). Dynamische Kopplung von Regenwasserbehandlung und Abwasserreinigung bei Mischwasserzufluss. *Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft*, Bd. 151.
- Carrette R., Bixio D., Thoeye C. und Ockier P. (2000). Storm operation strategy: high-flow activated sludge process operation. *Water Science and Technology*, **41** (9), 193-201.
- Fuchs L., Günther H. und Scheffer C. (1999). Comparison of quantity and quality oriented real time control of a sewer system. *Int. Conf. on Urban Storm Drainage, Proc.* pp. 432-440, Sydney, Australien.
- Fuchs L. (2002). Aspekte der Abflusssteuerung. *Dresdner Berichte*, TU Dresden, Bd. 19, 53-74.
- Fuchs, L.; Beeneken, T.; Verworn, H.-R.; Pfannhauser, G.; Atanasoff, K.; Steinwender, A. (2002) RTC of the Sewer System of the City of Vienna – A Project Perspective. *Proceedings of the 9 th International Conference on Urban Drainage, Portland, Oregon, USA.*
- Gujer W., Krejci V., Schwarzenbach R. und Zobrist J. (1982). Von der Kanalisation ins Grundwasser – Charakterisierung eines Regenereignisses im Glattal. *Gas-Wasser-Abwasser*, **62** (7), 298-311.
- Harremoës P., Capodaglio A.G., Hellström B.G., Henze M., Jensen K.N., Lynggaard-Jensen A., Ottepohl R. und SØeberg. (1993). Wastewater treatment plants under transient loading – performance, modelling and control. *Water Science and Technology*, **27** (12), 71-115.
- Krauth K. und Schwentner G. (1994). Betrieb von Abwasserbehandlungsanlagen bei Regenwetterzufluss. *Schriftenreihe „WAR“*, Universität Darmstadt, Heft 75, 41-63.
- Krebs P., Holzer P., Huisman J. und Rauch W. (1999). First flush of dissolved compounds. *Water Science and Technology*, **39** (9), 55-62.
- Krebs P., Armbruster M. und Rodi W. (2000). Numerische Nachklärbecken-Modelle. *KA – Wasserwirtschaft, Abwasser*, **47** (7), 985-999.
- Lijklema L., Tyson J. M. und Le Souef A. (1993). Interactions between sewers, treatment plants and receiving waters in urban areas: a summary of the Interurba. 92, *Water Science and Technology*, **27** (12), 1-29.
- Nyberg U., Andersson B. und Aspegren H. (1996). Real time control for minimizing effluent concentrations during storm water events. *Water Science and Technology*, **34** (3-4), 127-134.
- Rosenwinkel K.-H., Schlösser, N., Seggelke K. (2003). Abflussgrößen und Wechselwirkung Kanalnetz und Kläranlage. *ATV-Seminar Entwässerungssysteme L1, Kassel.*
- Schilling W. (1996). (Hrsg., 10 Autoren) *Praktische Aspekte der Abflusssteuerung in Kanalnetzen.* Oldenbourg Verlag, München, ISBN 3-486-26208-4.
- Seggelke K. (2002). Integrierte Bewirtschaftung von Kanalnetz und Kläranlage zur Reduzierung der Gewässerbelastung. *Dissertation. Veröffentlichungen des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik, Universität Hannover, Heft 124.*

Autoren

Dr.-Ing. Katja Seggelke
Itwh; Institut für technisch-wissenschaftliche Hydrologie
GmbH; Niederlassung Dresden
Sudhausweg 1, 01099 Dresden
k.seggelke@itwh.de

Dr.-Ing. Lothar Fuchs
Itwh; Institut für technisch-wissenschaftliche
Hydrologie GmbH
Engelbosteler Damm 22, 30167 Hannover
l.fuchs@itwh.de

